التقنيات الجيوفيزيائية المستخدمة في استكشاف الآثار

محمود عبد الله محمد المفرجي

قسم هندسة النفط، كلية الهندسة، جامعة كركوك، كركوك، جمهورية العراق

الملخص:

تضمنت هذه الدراسة شرحا موجزاعن اهم الوسائل والتقنيات الحديثة المستخدمة في المجالات الآثارية ،مثل تقنيات التحسس النائي ،التحليلات الجيوكيميائية، التقنيات الحديثة في مجال الدراسات البيئية والانثربولوجية ، استخدام الحواسيب والبرامجيات الحديثة في هذا المجال ، واخيرا الطرائق الجيوفيزيائية والتي تم التركيز عليها واثبتت نجاحاً في الكشف عن الآثار في عدة مواقع داخل العراق وخارجه .

استخدم في الدراسة الحالية برنامج (MAGCAD) لتفسير بعض الشواذ والقياسات المغناطيسية التي انجزت من قبل الباحث سابقا عبر عدة مسارات متوازية ولم نفسر في حينها ، حيث تم حساب التأثيرات التداخلية للشواذ العائدة لاجسام او جدران متقاربة ، والتي كانت متعذرة سابقا لعدم توفر البرنامج اعلاه ، مما سهل اجراء حسابات مضبوطة وبالتالي الحصول على تفسيرات كمية دقيقة جدا حيث تبين وجود جدران أثرية مطمورة بعمق ١,٨ متر عن سطح الارض .

وقد عززت نتائج المسح المغناطيسي بنتائج مسح المقاومة النوعية الكهربائية على طول اربع مسارات وعدة نقاط جس كهربائي في هذه المنطقة وما يجاورها ، حيث كانت نتائج التفسير متطابقة نوعما بكلا الطريقتين .

وتم ربط نتائج المسحين المغناطيسي والكهربائي مع بعضهما في عملية التفسير ثم اضيفت لها معلومات آثارية وتاريخية من دراسات وتنقيبات سابقة في هذه المنطقة والمناطق المجاورة وتم التوصل الى مخطط التراكيب الاثرية المقترحة في المنطقة .

المقدمة:

يتعامل علم الآثار مع جميع المخلفات البشرية على مر العصور سواء كانت مادية أم فكرية وبالتالي فهو يكشف عن حضارات الشعوب ، ولتحقيق هذا الهدف يحاول الآثاري أن يستخلص أكبر كمية ممكنة من المعلومات عن هذه المخلفات والتي تتطلب الكثير من الوقت والجهد .

إنّ عملية التنقيب الآثاري في العراق المتبعة في الوقت الحاضر قد تكون السبب في تخريب الكثير من الآثار المهمة ، علاوة على ان التقدم الحضاري الذي يشهده البلد في مجال البناء كتشييد العمارات والمعامل ،بناء السدود وحفر الجداول والخنادق أو شق الطرق أو الاعمال الزراعية ، قد يؤدي الى تهديم الكثير من المواقع الآثرية من دون قصد والى تخريب الكثير من الآثار ذات الأهمية التاريخية .

وللأسباب المذكورة اعلاه استوجب مسح واستكشاف المساحات الشاسعة اثارياً بسرعة للتحري عن المواقع الآثرية وتحديد امتداداتها واهميتها ، حيث ان الطرق العادية المستخدمة حالياً في تحديد الآثار قد لاتفي بالغرض المطلوب وذلك لبطئها كما انه توجد مواقع آثرية كثيرة غير مستكشفة حتى يومنا هذا ويؤكد ذلك ما تنشره الهيئة العامة للاثار عن وجود أعداد كبيرة من مواقع آثرية لا تزال بكراً وليس في خطط الهيئة اجراء التنقيب الاّ للأغراض العلمية والإنقاذية .

وفي الآونة الاخيرة توجه العالم الى توظيف الامكانات الحديثة العلمية والتقنية في الدراسات الآثارية وبذلت جهود علمية كبيرة باستخدام اساليب الفحص المختبرية وخاصة في مجال فحص المعادن والتحريات التحتسطحية عن المعادن وفحوصات التربة والفحوصات الانثروبولوجية وكانت هذه العمليات العلمية تتراوح بين البساطة وتلك المعقدة التي تحتاج الى تصميم اجهزة خاصة بكل حالة مما يجعلها مكلفة ،ولكن مع مرور الزمن والتطور الحاصل في هذه العلوم اصبحت الاجهزة ارخص ثمنا واكثر انتشارا .

وتم استخدام التقنيات والوسائل التي وجدت أصلاً للأغراض العسكرية واغراض البحث عن الخامات والهيدروكاربونات ،فالاثاري يكتشف بطرقه الفنية المتنوعة بعض المخلفات البشرية ويعرضها للدراسة والتحليل من قبل العلوم الاخرى من اجل الاستفادة القصوى من المعلومات التي توفرها هذه المخلفات . وغالبا ما تتطلب الحاجة الآثارية الاعتماد على اتجاه علمي محدد او على جهاز مصمم لأغراض طبية أو هندسية أو جيوفيزيائية بعيدة نسبيا" او كليا" عن مجال الآثار ، حيث انه بأستطاعة رجال الآثار والمختصين في هذا المجال الاستفادة من أحدث المبتكرات والوسائل التقنية في كل مراحل الاستكشاف الآثاري والتي تشمل مرحلة المسوحات الاستطلاعية والحقلية ومرحلة التحري والتنقيب واخيرا" مرحلة التحليل والمعالجة والدراسات المختبرية والتفاسير (١) .

تطرقت الدراسة الحالية الى عرض أمثلة من العراق ودول أخرى لبحوث تناولت اجهزة القياس والصفات الفيزياوية للمواد الأثرية والتربة وكذلك أساليب اخذ القراءات الحقلية ومعاملتها وتقديم نتائجها ، والمحاولات التي اجريت في هذه المناطق لأجراء التفسير الكمي للنتائج ، ولكون المشكلة التي تواجه الجيوفيزيائيين والمختصين العاملين في مجال الآثار هي العدد الهائل من القراءات الحقلية ، لذلك استوجب ايجاد طرق ملائمة لتمثيل هذه البيانات بأسلوب مبسط لغرض تفسيرها وترجمتها الى الناحية الآثارية وهنا يأتي الدور المهم والكبير لأنظمة الحاسبات الالكترونية والبرامجيات الحديثة التي تتولى معالجة البيانات الحقلية وتطبيق البرامج الملائمة عليها إذ أنّ استخدام أساليب أو انظمة ترشيح ملائمة لمنطقة معينة يؤدي الى الحصول على نتائج جيدة فمثلاً قد تظهر معالم آثارية لم تكن ظاهرة في الخرائط سابقاً أو كان مشكوكاً فيها وبالمقابل فأنه يحتمل الحصول على نتائج خاطئة عند استخدام أنظمة ترشيحية غير ملائمة للمنطقة المدروسة .

الوسائل والتقنيات المستخدمة في المجالات الآثارية :

** **الطرائق الجيوفيزيائية** (التي سيتم التطرق اليها لاحقا بالتفصيل) وتشمل الطريقة المغناطيسية والكهرومغناطيسية والطريقة الجذبية والطرق

الكهربائية مثل طريقة المقاومة النوعية والجهد الذاتي وكذلك استخدام المسح الجذبي الدقيق والفحص الزلزالي الجسي .

** **استخدام تقنيات التحسس النائي** (الاستشعار عن بعد) من خلال تفسير الصور الفضائية والجوية واستخدام تقنية التصوير الفضائي الراداري بمنظوماته المختلفة . ان تقنية استخدام التصوير الراداري في تطبيقات التحسس النائي تعد حديثة نسبيا وشملت افاق مختلفة من التطبيقات في مجالات الحياة واستخدامات الارض وكان من ضمنها مجال الاستكشافات الاثارية وخاصة تلك المدفونة تحت سطح الارض ولحد عمق معين . ان مبدأ الموجات الرادارية في الاستقصاء الارضي يعتمد على بث موجات ذات طول موجي معين وتردد معين وضمن زاوية بث خاصة من هوائي خاص في الطائرة أو القمر الصناعي لتصطدم هذه الامواج بالأرض والظواهر الموجود عليها او تحتها وتعود لتنعكس الى الهوائي مرة اخرى لتنتج لنا صورة نقطية رادارية يمكن ان تعالج بالحاسبات الالكترونية لزيادة وضوحها .تظهر لنا هذه الصور معظم الظواهر الموجود على السطح او تحته بسبب خاصية الاختراق الموجودة في الموجات الرادارية لسطح الارض وصولا الى ما تحته. الفائدة الاساسية من هذا التطبيق تكون في الاختلاف الذي يحصل لطور الموجات المخترقة لسطح الارض عند اصطدامها باجسام مختلفة في الكثافة عن ما حولها لذلك عند رجوعها الى الهوائي مرة اخرى وتسجيلها في القمر الصناعي فانها ستظهر بشدة ضوئية مختلفة عن ماحولها (اكثر بريقا او عتمة) اعتمادا على نوع الجسم المدفون واتجاه سقوط الموجات عليه وبأستخدام هذه التقنية امكن تمييز عدداً من المجاري النهرية القديمة المدفونة تحت الرمال في المناطق الصحراوية أو عدداً من الجدران والابنية القديمة المطمورة تحت الارض . واصبح استخدام مثل هذه التقنية مفيدا" في مناطق مختلفة من العالم مثل الصحراء الكبرى – هضبة التبت في الصين، متابعة قرى وابنية طريق الحرير في أواسط اسيا(٢). وفي العراق تم اختيار منطقة قريبة من مدينة الصويرة كنموذج تطبيقي حيث استخدمت اللقطة الفضائية للماسح الطيفي المتعدد (MSS) للقمر الصناعي لاندسات وتم تفسيرها ورسم معالمها الارضية بالتفسير البصري المباشر حيث تم اعداد خارطة تمثل الانهار القديمة المطمورة في المنطقة وكذلك مواقع المدن القديمة والتي تظهر بشكل تلال ومقارنتها بمقاطع مختارة من الصور الجوية لموازنة وتضبيط دقة العمل (٣) .

و في مصر أوضحت أجهزة الرادار على شاشات الحاسوب وجود حجرات جديدة داخل هرم الملك خوفو ، علاوة على وجود حجرة فيها معادن أسفل القدم اليمنى لتمثال ابو الهول . وفي جانب اخر اشار (٤) الى استخدام الانسان الآلي لمحاولة تقليل نسبة الرطوبة التي وصلت الى ٨٠% وكانت المفاجأة هي قيام الانسان الآلي بالكشف عن عدد من الفراغات والمواقع داخل الهرم ، منها ممرات وحجرات مغلقة .

**** التحليلات الجيوكيميائية للتربة:**

يمكن استخدامها كأداة فعالة في تحديد مواقع التراكيب الآثرية المطمورة حيث تكون الاشعة السينية الوميضية (XRF) والحائدة (XRD) رائدة في هذا المجال.

وقد اثبتت هذه التقنية نجاحها في تعيين التراكيب الأثرية المطمورة في موقع تل كوثة الاثرى / العراق (٥) حيث اجريت تحاليل خمسة عناصر رئيسية (Major elements) وثلاثة عشر عنصراً آثريا او نادراً (Trace elements) في مسح استطلاعي لهذا الموقع الآثاري وكانت العناصر الدالة هي Fe_2O5 و Cu والكاربون العضوي (Organic – C) .

ان جهاز طيف الاشعة السينية الوميضية (X- ray fluorescence spectrometry) وسيلة أخرى لحساب نسبة العناصر المهمة في التربة مثل النحاس ، النيكل ، الزنك . ويمكن استخدام طريقة استطارة النيوترون (Neutron scattering) كوسيلة لايجاد أو استكشاف الجدران المطمورة والكهوف ، ويتألف هذا النظام أو الجهاز من مصدر نيوتروني وعدّاد (BF3) وان مدى بطء واستطارة النيوترونات تكون أعلى في الهيدروجين من بقية العناصر الموجودة في التربة ، لذلك فانَ معدل العد في اللاّقط (count-rate) هو مقياس أو مؤشر لنسبة الرطوبة . وقد استخدمت ظاهرة التألق الحراري (Thermoluminescence) في دراسة تأريخ الآثار الفخارية في العراق (٦) ولهذه الظاهرة تطبيقات عملية عديدة من بينها تحديد تاريخ صنع المواد الفخارية على أساس التأثيرات الاشعاعية للمواد المشعة الموجودة في المواد الطبيعية للفخار على بعض المواد المعدنية وبالتالي يمكن تحديد الفترة الزمنية منذ صنع الفخار أي بعد تعرض الطين للفخر أو الحرق وحتى زمن قياس شدة التألق وبذلك فان السجل الماضي لظاهرة التألق الحراري للمواد الداخلة في صناعة الفخار قد ازيل بواسطة الحرارة اثناء عملية صنعه . ويمكن ايجاز مبدأ هذه الطريقة بأن ظاهرة التألق الحراري تتولد في البلورات المعدنية بتأثير الاشعاع المنبعث من العناصر المشعة (U,Th,K) ذات الوجود الطبيعي المشترك مع تلك البلورات ، وتتمثل تلك التأثيرات بشكل طاقة تراكمية مع الزمن تخزن في الشبكة البلورية لتلك المعادن ويمكن تحريرها وازالة آثارها بواسطة الحرارة وبالتالي يمكن قياس الفترة الزمنية التي تعرضت لها تلك البلورات الى المصادر الاشعاعية الطبيعية أو غيرها . انّ استخدام هذه التقنية الحديثة في الدراسات الآثارية معروف في العالم وتطبيقاته موثقة في الادبيات العلمية ذات العلاقة لذا يمكن التوسع في استخداماتها وتنشيط الدراسات الحضارية في العراق وذلك لمزاياها العديدة من حيث دقتها المعقولة ونتائجها المباشرة فضلا عن امكانية استخدام القطع الفخارية المكسورة والمتناثرة في المواقع الاثارية لهذا الغرض (٦) .

**** وسائل تقدير عمر الآثار:**

تنقسم الى قسمين:التاريخ النسبي،وهو تاريخ فترة تاريخية أواحداث معينة بالنسبة لفترات سابقة أو لاحقة ومن امثلة ذلك دراسة الطرز والطبقات الأثرية وتاريخ الملوك والمدن. أما القسم الثاني فهو التاريخ المطلق،وهو تحديدالفترة الزمنية للآثار بصورة دقيقة ومن الأمثلة على ذلك تقدير العمر بالكاربون المشع،وتعتمد هذه الطريقة على قياس وتقدير كمية الكربون المشع في عينة اثرية ما ومقارنتها بكمية الكربون المشع في الكائنات الحية التي لم يحدث لها تحلل ، ثم تقدير العمر بناء على نصف عمر كاربون–١٤ المشع ، ويفضل استخدام الكاربون–١٤ نظرا" لطول عمر نصفه النسبي (half-life) والذي يقدر بـ(٥٠+٥٧٦٠) سنة. وغالبا"مايمكن

حساب عمر النماذج الأثرية المأخوذة من الأتونات والأفران الفخارية باستخدام النظائر المشعة بدقة مقدارها (+١٠٠) سنة بطريقة الكاربون-١٤ عن طريق استخدام الرماد المتبقي من آخر حرق لها، ويمكن كذلك استخدام طريقة الثوريوم-٢٣٠ وطريقة البوتاسيوم٤٠-أركون٤٠ .

وتوجد تقنيات متقدمة في هذا المجال مثل الريزونانس الالكتروني الدوام (Electron Spin Resonance) ولكن الاجهزة الخاصة بها غير متوفرة في العراق حاليا".

ويمكن معرفة أصل القدور الفخارية والخزف(الزجاج)والنقود المعدنية بتطبيق تقنية التحليل بالتنشيط النيوتروني والتي تتطلب جهاز طيف أشعة كاما (gamma-ray spectrometry)، وتمتاز بحساسيتها العالية للعناصر الأثرية النادرة (trace elements) .

**** استخدام التقنيات الحديثة في مجال صيانة وترميم الآثار:**

تتم هذه العملية من خلال اشتراك عدة اختصاصات علمية وهندسية في مشروع الترميم ابتداءاً بالتوثيق والتوثيق المساحي والمعماري باستخدام محطة الأرصاد المتكاملة (Total Station) وتتكامل داخل هذه المرحلة أعمال الفوتوغرامتري باستخدام الكاميرات الرقمية مع اعمال الرفع المعماري والمساحي ثم التوثيق الفوتوغرافي ، ويتوازى ذلك مع الدراسات الهندسية التي تشمل على الدراسات الجيوتقنية ويتم فيها عمل مجسات يدوية وميكانيكية لدراسات التربة وتحديد خواصها الطبيعية والميكانيكية ... الخ . وبناء على هذه الدراسات يقترح الاسلوب المناسب لتدعيم التربة والاساسات وتشمل الدراسات ايضاً تحليل مواد البناء المستخدمة في الاثر ومظاهر التدهور التي حدثت بها ويترتب على هذا له وضع مشروع متكامل لترميم الآثار(٧) العراق استخدمت الاشعاعات المؤينة (من الكوبلت -٦٠ والسيزيوم -١٣٧) للحفاظ على المخطوطات والوثائق الآثرية لمزاياها العديدة، ومعالجة بعض اللقى الآثرية المعدنية باستعمال بلازما الهيدروجين ذات الضغط الواطئ وتم دراسة طبقات التآكل على البرونز في الآثار القديمة وخاصة مرض النحاس باستعمال مادة البنزوترايازول (BTA).

**** استخدام التقنيات الحديثة في مجال الدراسات البيئية والبيولوجية والانثروبولوجية:**

اجريت تحاليل بالينولوجية على لباب الترسبات المأخوذة من ثلاثة آبار في الجزء الجنوبي من السهل الرسوبي على طول شط العرب ونهر دجلة (قرب مدن البصرة والقرنة والعمارة) ومن خلالها تم استنتاج سجل المناخ القديم لجنوب العراق لفترة ٥٥٠٠ سنة مضت توزعت على سبعة انطقة مناخية قديمة(٨).وتم استنتاج التغيرات البيئية القديمة لمنطقة مندلي / الكوت خلال العصر الرباعي (Quaternary) من خلال دراسة متحجرات الاوستراكودا في ترسبات هذا العصر ، وتراوحت هذه التغيرات البيئية بين الفترات الجافة خلال البلاستوسين المتآخر الى الفترات الرطبة خلال الهولوسين وتم تأكيد هذه التغيرات المناخية من خلال ادلة حبوب الطلع واللقاح (Pollen Evidence) لتلك الفترة (9).وتم الاستدلال على المناخ القديم خلال البلايستوسين المبكر في الصحراء الغربية والجنوبية للعراق من دراسة الجزء الاعلى من تكويني الدبدبة والزهرة (١٠) .

**** اجراء الدراسات الخاصة بتقويم الخواص الجيوتكنيكية للتربة** تحت المنشآت الآثارية والمعالجات الهندسية لمشاكل المياه الجوفية في بعض المواقع الآثرية.

ان الآثاري غير متخصص في العلوم الصرفة ولا بالعلوم الهندسية لذلك فان الاسناد الهندسي من قبل متخصصين في العلوم الهندسية وبخاصة في الدراسات المعمارية والانشائية وهندسة المساحة واجهزتها المتطورة ، لا يمكن الاستغناء عنها في الاعمال الاثارية وكذلك اعمال تحليل التربة والمخلفات العضوية وبخاصة دراسة العظام الحيوانية والبشرية . ومن الامثلة على هذه الدراسات : تاثير استقرارية المنحدرات الصخرية على المباني الاثرية ، دراسات جيولوجية هندسية عن اسباب حدوث الانهيارات في المنشات والابنية التراثية في المواقع الاثارية ، حماية المنشات والمشيدات الاثارية من اخطار الزلازل والفيضانات ، اجراء اختبارات الضوضاء لمعرفة مدى تحمل التراكيب الاثرية للعوامل الطبيعية الجوية ونشاطات الانسان ، واخيرا كيفية اجراء المعالجات الهندسية لمشكلة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية التي قد تتعرض لها اسس جدران المواقع الاثارية .

**** الطرق الجيوفيزيائية الشائعة في التحري عن الآثار:**

دخل علم الجيوفيزياء في مجال الكشف عن الآثار وذلك بتفسير القياسات الجيوفيزيائية التي تؤخذ على سطح الارض قبل البدء بعملية الحفر والتنقيب اعتماداً على مبدأ وجود الاختلاف في الخواص الفيزياوية ين الجسم الآثري والمواد المحيطة به ، حيث سيؤدي هذا الاختلاف الى حدوث شذوذات او انحرافات (Anomalies) سالبة أو موجبة في القراءات الحقلية .

وتعد الطرق الجيوفيزيائية من أفضل الأساليب في مجال الاستكشاف والتنقيب عن الآثار ،لانها آمنة تماماً بحيث تضمن اكتشاف الابعاد التصميمية للتراكيب الآثرية وطبيعة تكوينها وأعمال المنشآت الآثرية المدفونة . كما انها تتيح معرفة التكوينات الصخرية ، وطبيعة الطبقات الحاملة للاثار ما يعمل على توجيه الاجهزة والدوائر المعنية بالاكتشافات الآثارية والجهات المسؤولة عند بدأ عملية التنفيذ والاستخراج .

ومن اهم هذه التقنيات :

١. طريقة الرادار الارضي (GEORADAR) : يقوم هذا الجهاز بعمل ارضي وتصوير شامل لكل الآثار والتراكيب للبيانات المجمعة ، بحيث يمكن تحديد اماكن الاهداف المطلوبة واعماقها ، وتصل كفاءة هذا الجهاز حداً يمكنه تصوير اعماق تبلغ حوالي ٤٠ متراً تحت سطح الارض ، وذلك وفق تردد المرسلة المستخدمة .وتسمى هذه الطريقة احيانا (GPR) أي الرادار المخترق للارض (Ground Penetrating Radar) .

٢. جهاز الترددات المنخفضة (VLF) أو (Ultrasonic)

يعطي هذا الجهاز صورة عامة عن الموقع الآثري المقترح ، عن طريق الترددات الواطئة (Very Low Frequency) التي تصل الى اعماق مختلفة ، مما يتيح تصوراً عن الموقع ككل قبل البدء بعملية الحفر والتنقيب وعلى الاخص المنطقة الجافة .

٣. جهاز الكهرومغناطيسية : (Electromagnetic Imaging)

يستخدم هذا الجهاز الترددات الكهرومغناطيسية (EM Frequency)، في التحديد الدقيق لاماكن الآثار وفصلها عن الطبقات المحيطة بها مما يعطي تصوراً عن اماكن وجود الآثار بدقة متناهية . وتستخدم في هذه الطريقة

احدث الاجهزة الجيوفيزيائية الكهربائية من فوق سطح الارض حيث تتيح المعرفة الدقيقة لكل من التغير الافقي والتغير العمودي للموقع الآثري المقترح .

٤. الطريقة الجذبية الدقيقة (Microgravity)

وهي من الطرق الجيوفيزيائية المتقدمة التي تستخدم لاغراض التحريات الهندسية التفصيلية والآثارية (البحث عن الآثار) وتهدف للكشف عن شذوذات ضعيفة جداً ويستوجب ذلك تباعدات صغيرة بين نقاط القياس تقع بين ١ و ٢٠ متراً ودقة للقراءات تصل الى حدود ١٤ مايكروكال ويجب ان لا تزيد نسبة الخطأ في القراءة الواحدة عن (٥) مايكروكال في اكثر تقدير.

يعد استخدام الطريقة في التحري عن الآثار من التطبيقات الحديثة نسبياً حيث استخدمت في التحري عن بعض السراديب في كنيسة سان فنزل الشكل (١) وجرى قياس (٣٢٠) نقطة على شبكة ابعادها (١ × ١) م و (٢ × ٢) م وكان خطأ القياس بحدود ٠,١١ $\mu m /S^2$ ، فقد كشفت الشذوذات الصغرى ذات السعة ٠,٦ $\mu m /S^2$ التجاويف الفارغة بشكل واضح(١١) واستخدم المسح الجذبي الدقيق في الكشف عن الاقبية والمعابد المطمورة في مجال قلعة تاراندت الآثرية (المانيا الشرقية) وكانت شبكة القياس (٢×٢) م . واستخدمت الطريقة من قبل فريق عمل فرنسي للكشف عن غرفة الملك السرية في اهرام مصر ، كما استخدمت من قبل فريق عمل عراقي تابع لمجلس البحث العلمي السابق في التحري عن الآثار أيضاً .

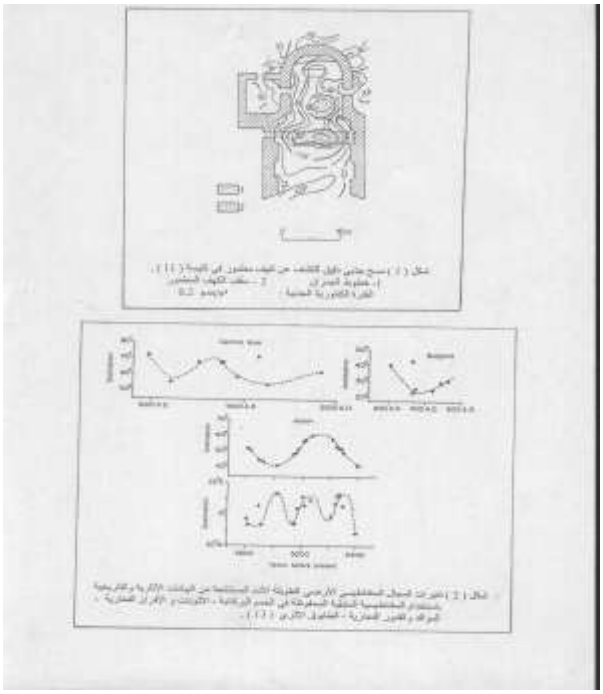
٥. طريقة الجهد الذاتي الكهربائي (Self Potential)

ان قابلية الصخور لتوصيل التيار الكهربائي الطبيعي والذي يولد الجهود الذاتية ، تعتمد على تواجد الفراغات الصخرية ، ودرجة توصيليتها التي تعتمد على كمية المياه الموجودة فيها . فأذا كانت الارض مشبعة بالمياه ، فان الفرق في قيم الجهد بين انواع الترب يعزى الى الاختلافات في هندسية ترتيب جزيئاتها ، اما اذا كانت جافة نسبياً ،فان الفروقات ربما تعزى الى الاختلافات في كمية المياه الموجودة فيها . تظهر شواذ الجهد الذاتي نتيجة لوجود تباين في قيم الجهد الذاتي بين التراكيب الأثرية والتربة المحيطة بها ، بالاعتماد على قابلية التراكيب الآثرية في امرارها للتيارات الكهربائية الطبيعية من خلالها والتي بدورها تولد الجهود الذاتية المقاسة عند السطح.

وقد اجريت دراسة لاستخدام هذه الطريقة في الكشف عن الآثار في منطقة عكركوف (12)باستخدام جهاز (Terrameter Sas 300) بفاصلة شبكية (٢٠×٢٠) م.وقد تبين من خرائط الشواذ الجهدية المتبقية ، ان الشواذ السالبة قد تعزى الى احتمال تواجد بعض الابنية والجدران الآثرية ، وذلك بسبب قلة مرور التيارات الكهربائية فيها لمقاومتها العالية نسبة الى المناطق المحيطة بها . اما الشواذ الجهدية الموجبة فقد تعزى اما الى تواجد منخفضات والتي تكون ذات مقاومة واطئة فتسمح بمرور التيارات من خلالها وبالتالي تزيد من قيم الجهد الذاتي فيها ، ولكن توجد بعض الاستثناءات لانه قد تكون هذه المنخفضات مملوءة بمواد (كسر وطابوق البناء) ذات مقاومة عالية ، حيث ان المناطق ذات الشذوذ الجهدية الموجبة ترتبط مع صخور ذات مقاومة اقل من الصخور المرتبطة مع الشواذ الجهدية السالبة وقد تعزى هذه الشواذ الى حركة المياه الجوفية وقربها من السطح اذ ان حركة المياه خلال وسط مسامي يمكن ان ترتبط الجهود الموجبة بسبب عملية امتصاص الايونات السالبة من قبل الصخرة وحركة المياه الصاعدة تركز الايونات الموجبة عند السطح وبالتالي تولد جهود موجبة حيث يعتقد بأن حركة المياه الجوفية تولد شواذاً جهدية عند السطح

٦- الدراسات الباليومغناطيسية (Palaeomagnetism)

يمكن تسجيل تغيرات المجال الارضي طويلة الامد الممتدة لبضع آلاف من السنين باستخدام المغناطيسية المتبقية المحفوظة في المواد الاثرية . وتعد النماذج الاثرية مثل الاتونات ، الافران الفخارية ، المواقد والقدور الفخارية .....الخ موادا مثالية لاجراء تحليلات المغناطيسية القديمة لان مكوناتها المغناطيسية تتألف في الغالب من معدن الهيماتايت الذي يكون مستقرا من الناحية الكيميائية والمغناطيسية ويمكن تتبع طريقة اكتسابها المغناطيسية المتبقية في المختبر . تستخدم هذه المواد والنماذج الاثرية لحساب انحراف وميل وشدة المجال المغناطيسي القديم في اماكن معينة ولاوقات محددة وهكذا يتم انشاء او رسم مخطط بياني لتغيرات المجال الارضي خلال بضع الاف سنة الماضية .(الشكل ٢) (١٣).



٧- الطريقة المغناطيسية .

٨-طريقة المقاومة النوعية الكهربائية .

وتشترك كل الطرق الجيوفيزيائية في انها لا تسبب أي نوع من الاضرار للآثار المدفونة حيث انها مصممة اساساً للاستكشاف الآمن وكلها مصممة لكي تستخدم على سطح الارض فقط دون أي نوع من الحفر او التخريب .

ومما يجدر ذكره ان واحداً او اكثر من الطرق والتقنيات السابقة قد تنجح في تحديد البناء او الجدار الأثري في موقع واحد واحياناً تفشل احداها في التطبيق بينما تنجح في موقع أثري اخر اعتمادا على ظروف مختلفة وخواص الموقع . وفي هذه الطرائق والتقنيات المختلفة جميعها يجب ان تكون التفسيرات والنتائج متوافقة ومتلائمة فيما بينها ومع المنطق العلمي الآثاري والادبيات التاريخية والتنقيبات الأثرية المتوافرة عن منطقة الدراسة .

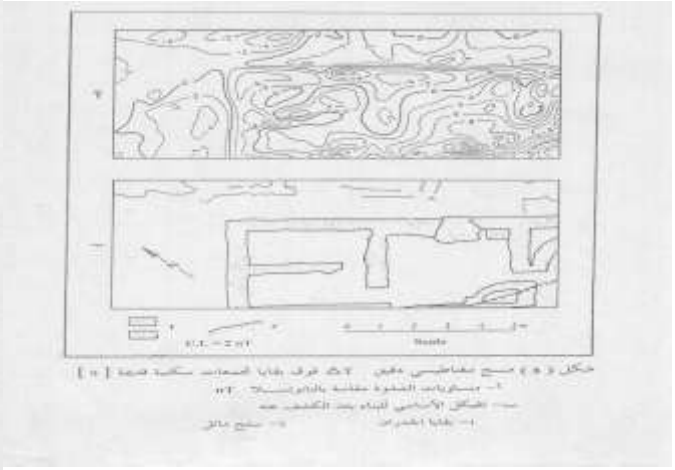
طريقة المسح المغناطيسي (Magnetic Method)

لقد طبقت الطريقة المغناطيسية في التحريات الآثارية منذ سنين عديدة باستخدام الماكنيتوميتر (Magnetometer) وهو جهاز قياس شدة المجال المغناطيسي الارضي .

تستفيدالمسوحات المغناطيسية عالية التمييز من الفروق الضعيفة في شدة التمغنط بين بقايا النشاط الانساني وبخاصة التمغنط المتبقي في الادوات المفخورة (المواقد، الفخار، الخزفيات .. وغيرها) ، وبين ما يحيط بها من مواد (تربة واطيان).

يمكن تحديد الابعاد والامتدادت لكل التراكيب الرئيسية الحاملة للآثار ، وبعد المعالجات المختلفة للبيانات المقاسة باستخدام احدث انواع التقنيات البرمجية يمكن تحديد اعماق هذه التراكيب ونوع الطبقات الحاملة للآثار ونسب المعادن الممغنطة فيها .

يبين الشكل (٣) نتائج القياسات في منطقة يتوقع فيها بقايا تجمعات سكنية قديمة تعود للقرن الرابع والثالث ق. م واقعة الى الشمال الغربي من شبه جزيرة القرم . ويشير شكل الشذوذ المغناطيسي الى بقايا جدران ، حيث تتوافق حجارة الجدار الطبيعية والعديمة المغنطة تماماً مع القيم الدنيا للشذوذ المغناطيسي ، وتتوافق القواعد الفخارية مع القيم العليا، وتم التحقق منها عن طريق التنقيب والحفريات اللاحقة التي كشفت عنها .



كما قدمت القياسات المغناطيسية الدقيقة، التي اجريت بقصد البحث عن اهداف آثارية مطمورة في موقع تل طاوى الأثري على الضفة اليسرى لنهر الفرات في شمال سوريا نتائج جيدة في الكشف عن القبور القديمة (١١) حيث قيست الشدة الكلية (Total Intensity) في اكثر من الف نقطة موزعو على مساحة قدرها هكتار واحد وقد ظهرت الاجسام الاثرية (القبور المطمورة) على شكل شذوذ مغناطيسي منخفض (سالب) يسبقه ويعقبه نهوض (موجب) في قيمة الشدة المغناطيسية المقاسة ، وتصل قيمة سعة هذا الشذوذ الى 50 nT.

هناك تطبيقات اخرى كثيرة للقياسات المغناطيسية لاستكشاف الآثار القديمة في العالم لا مجال لذكرها ، اما في العراق فقد جرت عدة محاولات في هذا المجال في سبعينات وثمانينات القرن الماضي كانت بداياتها في موقعي سيبار وابو صخير الآثريين جنوب بغداد (١٤). وقام (١٥)باستخدام الماكنيتوميتر السيزيومي ذي المجسات المتعددة كأداة ناجحة جداً في التحري عن الآثار المطمورة في مدن اشور (العراق) ، تروي (تركيا) ، بالميرا (سوريا) ، برمسيس (مصر) .

وقام (16) باستكشاف مغناطيسي لجزء من مدينة دورشروكين الأثرية بهدف تحديد المظاهر الآثرية المطمورة ضمن هذا الجزء ، وتم التوصل الى تشكيل نماذج لتفسير الشواذ المغناطيسية باستخدام برنامج لعمل النماذج الرياضية ذات البعدين من دون تفسير الشواذ المركبة الناتجة عن تداخل عدة شواذ عائدة لمظاهر او جدران متقاربة ، حيث كانت العملية متعذرة سابقا لعدم توفر البرامجيات الخاصة بذلك .

وبناءا" على ما تقدم فقد تم في البحث الحالي وضع موديلات تأخذ بنظر الاعتبار حساب التأثيرات التداخلية للشواذ المغناطيسية واعادة تفسير بعض الشواذ والقياسات التي انجزت من قبل الباحث سابقا عبر عدة مسارات متوازية ولم تفسر في حينها (١٦)، ومن ثم مقارنة نتائج التفسيرات المغناطيسية الحالية مع نتائج التحري الكهربائي بطريقة المقاومة النوعية الذي اجري لنفس المنطقة وما يجاورها (الشكل ٤) .

تفسير المعطيات المغناطيسية:

يعتقد بان امتداد الشواذ الطولية يعكس جداراً او سوراً يحيط بالمنطقة ومصدر هذه الشواذ المغناطيسية هي الطابوق المفخور المبني منه الجدار ، اما الجزء الشمالي في المنطقة فيمثل الجزء المطمور من آثار ابنية كأن تكون قصراً أثريا سبق وان نقب فيه ويؤيد هذا الاعتقاد الطوبوغرافية المرتفعة نسبياً التي تقع مباشرة تحت امتداد الشواذ الطولية وكذلك تناثر بقايا الطابوق الآثري في اماكن هذه الشواذ .

ان الشواذ الطولية الظاهرة فوق التراكيب الآثرية المطمورة تنشأ بسبب التباين في قابلية التمغنط (Magnetic Susceptibility Contrast) بين التراكيب الآثرية هذه والتربة المحيطة بها وبالتالي ينشأ تباين في المغطسة (Magnetization) ، فكثير من التراكيب المفخورة كالطابوق والمواقد والاتونات الفخارية والخزفيات، تكتسب مغطسة حرارية متبقية (T.R.M.) بسبب الفخر .

وفي هذا البحث اهملت المغطسة المتبقية الناتجة عن حرق الطابوق الآثري واعتبرت مغطسة الطابوق محتثة من المجال المغنطيسي الارضي وستؤخذ لوحدها بنظر الاعتبار عند اجراء التفسيرات الكمية اللاحقة .

جمعت نماذج من التربة من مواقع مختلفة في المنطقة وتم جمع نماذج من كسر الطابوق والفخار المتناثر في الموقع وفي الاماكن التي يتوقع وجود الجدران فيها ، وخضعت هذه النماذج للفحص المختبري حيث تم قياس قابلية التمغنط لها بواسطة قنطرة قياس قابلية التمغنط فوجد ان قيمة متوسط قابلية التمغنط لنماذج الطابوق تساوي(A/m ١,٤٦٢) أما معدل قيمتها لنماذج التربة فتساوي (A/m ٠,٠٨) وبذلك يكون قيمة متوسط تباين قابلية التمغنط بين الطابوق والتربة هو (A/m 1.382) .

ان المعلومات المتوفرة سواء كانت من الجهات الآثارية الرسمية او من نتائج القياسات المختبرية عن الخواص المغناطيسية للنماذج الآثرية للمناطق المجاورة شجعت على المضي قدماً في تفسير الشواذ الخطية الملحوظة فوق التراكيب الأثرية . لقد تم التفسير الكمي في هذا البحث باستخدام الطريقة غير المباشرة ، بتشكيل نماذج ثنائية الابعاد لحساب الشواذ الناتجة عن اجسام تجريبية ومقارنتها بالشواذ المقاسة .

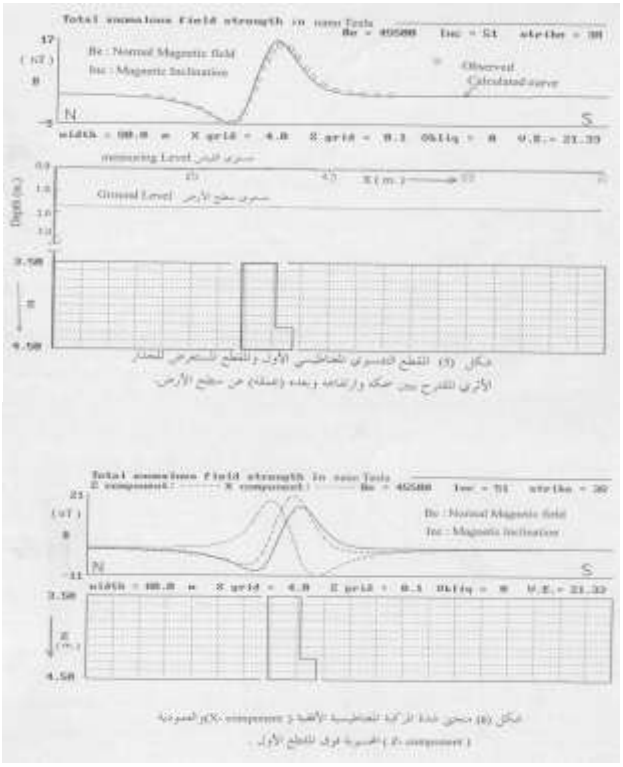
استحدث ستيف شريف (١٧) برنامجاً أسماه(MAGCAD) لحساب شدة المجال المغناطيسي الكلي للشواذ المغناطيسية الناتجة عن اجسام متعددة الاضلاع (لا يتجاوز عدد الاضلاع ٣٣) ولعدد غير محدد من الاجسام في آن واحد ، علاوة على ذلك فأن البرنامج يحسب شدة المركبة المغناطيسية الافقية والمركبة العمودية للمجال المغناطيسي وفي هذا البرنامج يمكن استخدام وحدات سم.غم.ثا (cgs units) أو الوحدات الدولية (SI units) . ان هذا البرنامج مفيد جداً في حالة الشواذ المركبة الناتجة عن تداخل عدة شواذ عائدة لمظاهر او جدارن متقاربة حيث يمكن حساب تأثير الشواذ على بعضها فتظهر محصلة الشذوذ على الشاشة وعندها يمكن تغيير اعماق وشكل وابعاد الاجسام المفترضة مباشرة للحصول على اقرب تطابق او تشابه بين مقطع الشواذ المحسوب (Calculated) مع المقطع المقاس أو الملحوظ (Observed curve) .

استخدم هذا البرنامج (MAGCAD) للتفسير الكمي للشواذ المغناطيسية الموجودة في منطقة الدراسة واعتبرت قيمة الميل المغناطيسي (Magnetic inclination) مساوية الى ٥٢ والمجال المغناطيسي الاعتيادي مساويا الى ٤٥٦٠٠ نانوتسلا استناداً الى الخرائط المغناطيسية العراقية ، في حين استخدمت القيمة A/m 1.382 لتمثل متوسط تباين قابلية التمغنط في هذا البرنامج .

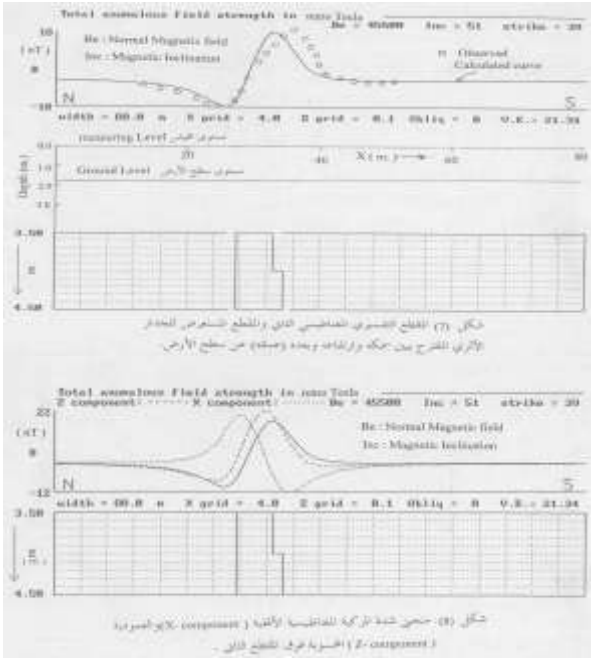
لقد أستعملت لأغراض التفسير ٧ مقاطع على خارطة الشواذ المغناطيسية المتبقية (١٨) .

في الشكل (٥) يبين المقطع الاول ان النموذج (الجدار الاثري) يقع على عمق ١,٨ متر من سطح الأرض ، وارتفاعه متر واحد وسمكه يتراوح بين (٥–٧,٥) متر لتهدم بعض اجزاءه الخارجية بفعل عوامل الجو او الانسان .

ويبين الشكل (٦) منحنى شدة المركبة المغناطيسية الافقية (X-Component) والمركبة العمودية (Z-Compenet) المحسوبتان فوق المقطع الاول علاوة على شدة المحال المغناطيسي الكلي .



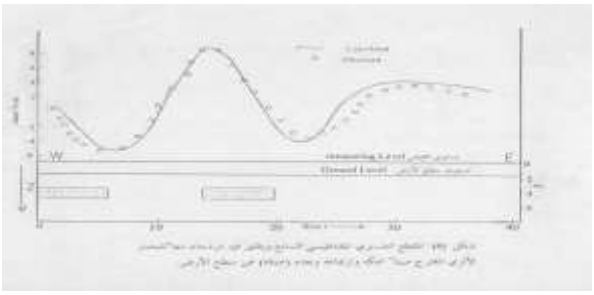
ومن الشكل (٧) يبين المقطع الثاني بان الجدار هنا له ذات المواصفات الا ان اجزاءه الخارجية اقل تهدماً حيث يتراوح سمكه بين (٥,٥–٧) متر ويبين الشكل (٨) منحنى شدة المركبة المغناطيسية الافقية والعمودية والمحصلة الكلية المحسوبة للمجال المغناطيسي فوق هذا المقطع .



ومن اجل حساب التأثيرات التداخلية للشواذ فقد افترض عدد من الاجسام معاً للجدار المقترح بحيث ينتج عنها شواذا" مشابهة لمقطع معين على الخارطة وباعتقادنا ان هذه العملية لا تحل مسألة تداخل الشواذ حلاً

كاملاً وذلك لان التأثيرات التداخلية تكون ثلاثية الابعاد (Three Dimensional) بينما تحسب هذه العملية التأثيرات التداخلية ثنائية الابعاد فقط ، الا انه يمكن اعتبارها مرحلة متقدمة عن التفسير الفردي للشذوذ .

وعلى سبيل المثال افترض نموذجان معاً للجدار المقترح على المقطع السابع وقام البرنامج بحساب الشواذ المركبة الناتجة عن تداخل هذه الشواذ مع بعضها فظهرت محصلة الشذوذ على الشاشة (الشكل ٩) حيث يظهر ان الجدار المقترح يقع على عمق ١,٨م من سطح الارض ويمتد عمودياً لارتفاع ١,٥م ويبلغ سمكه ستة امتار .



من المهم ان نذكر انه يوجد عدد متناهي من الفرضيات التي تعطي شواذاً متطابقة مع الشواذ المقاسة الاّ ان الفرضية الملائمة يجب ان تكون عملية ومعقولة ومستندة على دراسات آثارية او تنقيبات سابقة في منطقة الدراسة وما يجاورها او مبنية على خبرة شخصية . ولم تفسر كل الشواذ الموجودة في المنطقة وذلك لعدم وضوحها او لعدم تكاملها او لكونها محاطة بشواذ قريبة لايمكن حساب تأثيرها .

طريقة الممانعة الكهربائية (Electrical Resistivity)

استخدمت هذه الطريقة في استكشاف المياه الجوفية والمعادن ومعرفة الطبقات التحتسطحية وهي اولى الطرق الجيوفيزيائية التي تم تطبيقها في مجال التحري عن الآثار .

تعتمد هذه الطريقة على وجود تباين في قيم المقاومة النوعية (Resistivity Contrast) بين التراكيب الآثرية والتربة المحيطة بها ، ويتأثر هذا التباين بعوامل مختلفة منها كمية ونوعية الماء الموجودة في التربة ، الفجوات والمسامات في المواد (Pores) اضافة الى نوعية المعادن المكونة لهذه المواد او الصخور ، ومن اهم العوامل المساعدة في تحديد الظواهر الاثرية المدفونة بأستخدام الطريقة الكهربائية هو الاختلاف في كمية الرطوبة التي تحويها هذه المظاهر والتي تتغير تبعا للتأثيرات المناخية والهيدرولوجية ونوعية التربة .

يتطلب المسح واجراء القياسات الحقلية تثبيت اربعة اقطاب في مواقع محددةعلى سطح الارض اثنان منهما يستخدمان لتسليط التيار الكهربائي ويسميان القطبان الكهربائيان (Current Electrods) اما القطبان الاخران فيستخدمان لقياس فرق الجهد ويدعيان قطبا الجهد (Potential Electrods) . وتوجد عدة انظمة لترتيب الاقطاب ، ولكن الشائع منها في استكشافات الآثار طريقتان هما ترتيب وينر (Wenner Configuration) وترتيب ثنائي القطب (Dipole – DiopoleConfiguration) . توزع الاقطاب في طريقة وينر بحيث يحيط قطبا الجهد بالقطبين الكهربائيين وتكون المسافات متساوية بين الاقطاب الاربعة ويتم اختيار البعد بين الاقطاب اعتماداً على العمق المطلوب التحري عنه او عمق الآثار التي يراد استكشافها . اما في ترتيب ثنائي القطب فيثبت قطبا الجهد على طرفي القطبان الكهربائيان بمسافات يعتمد مقدارها على عمق التراكيب التي يراد التحري عنها .

بعد تثبيت الاقطاب الاربعة على الارض يتم قياس فرق الجهد عند امرار التيار الكهربائي باستخدام جهاز قياس المقاومة الكهربائية (Resistivity meter) ، فالتغيرت التحتسطحية تغير من شكل ومسار التيار الكهربائي داخل الارض والذي يؤثر بدوره على توزيع الجهد الكهربائي . ان درجة تغير الجهد المقاس على سطح الارض يعتمد على حجم وشكل موقع الاجسام التحتسطحية ومقاومتها الكهربائية .

استخدمت الطريقة الكهربائية لتعيين المظاهر الاثرية الممتدة (الجدارن الآثرية ، الطرق ، الخنادق) والمظاهر المنعزلة او المنفصلة(الحفر ، الاتونات والافران الفخارية) .

يعد (١٩) أول من استخدم طريقة المقاومة النوعية في التحري عن الآثار في مقاطعة اوكسفورد وحصل على نتائج جيدة ، وبعد سبعة سنوات استعمل (٢٠) المسح الكهربائي لايجاد جدران مدفونة في مواقع اثرية رومانية واستكشاف مجرى قناة مدفونة ، وفي عام ١٩٦٢ استخدم (٢١) طريقتي وينر وشلمبرجر لترتيب الاقطاب في عدة مواقع اثرية رومانية منها مقاطعة ستافورد ، وبينت نتائج المسح ان المقاومة النوعية تتأثر برطوبة التربة وسقوط الامطار الغزيرة .

اجرى لنكتون في ستينات وسبعينات القرن الماضي عدة مسوحات كهربائية على مواقع اثرية رومانية في بولونيا وايطاليا وجيكوسلوفاكيا وباستخدام ترتيب وينر للاقطاب .

وفي الآونة الاخيرة ونتيجة للتطور الحاصل في اجهزة الحاسوب والبرامجيات، تطورت تقنية متقدمة تختص بالمقاومة الكهربائية سميت (Electrical Resistivity Tomography) ويطلق عليها اختصارا (ERT) .تسمح هذ الطريقة بالحصول على صور او تخيلات تفصيلية (Detailed images) عن التوزيع الجانبي والعمودي للمقاومة النوعية ضمن الجزء التحتسطحي المستكشف ، وبتطبيق خوارزميات متقدمة وبرامجيات بالابعاد الثلاثة (3D) علاوة على (2D) .

واحدث مثال على تطبيق هذه التقنية ما نشره (٢٢) عن حالتين في ايطاليا: الاولى تتعلق بتطبيق (ERT) من اجل تقييم ودراسة اجزاء من جدران اثرية في مدينة البندقية (Venice) لكي يتمكن المختصون من ترميمها أو حقنها بمواد رابطة لمحدودية او فشل التقنيات الجيوفيزيائية الاخرى في تقييمه مثل (GPR) والموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) حيث يمتاز الجدار بمقاومة نوعية واطئة (٢٠-١٠ اوم .متر) واستخدمت ترتيبات وينر والثنائي القطب لقياس المقاومة الظاهرية على طول اربعة مسارات ثم هيئت هذه البيانات للحصول على نماذج مجسمة (3D) للتركيب الداخلي للجدار المستكشف قبل وبعد عملية الحقن .

اما الموقع الآثري الاخر فانه يعود الى العصر الحجري القديم ويسمى (Isernia) ويقع جنوب ايطاليا ويعد واحدا" من اهم مواقع ما قبل التاريخ المأهولة ، وقد اكتشف عام ١٩٧٨ ومنذ ذلك الحين استخدمت التقنيات التقليدية الشائعة في الاثار وتوالت عليه التنقيبات لاحقاً لمحاولة رسم خارطة الموقع ولم يحل المشكلة سوى اجراء مسح جيوفيزيائي على طول

تسـع مسـارات باسـتخدام (ERT) وكانـت المسـافة بـين الاقطـاب ٠,٥م ونظمـت البيانـات المستحصـلة لتحويلهـا الـى بيانـات ومقـاطع للمقاومـة النوعيـة الظاهريـة بشكل (3D) ، واخيرا حولت هذه البيانات الى صور وخرائط تبين توزيـع المقاومـة النوعيـة بشـكل (2D/3D images) تحت السطح في هذا الموقع الآثري .

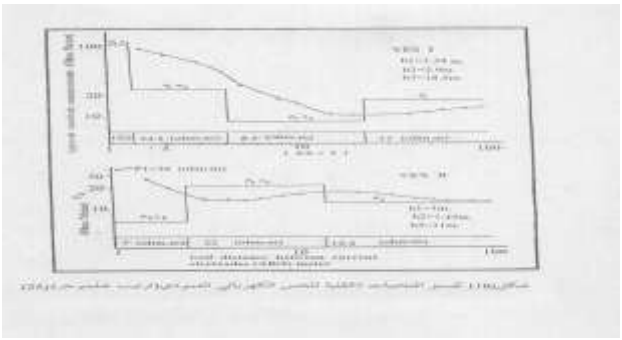
ومـن الجـدير بالـذكر ان اول اسـتعمال لهـذه التقنيـة (ERT) وبرامجهـا الحديثة في العراق كان من قبل (٢٣) لدراسة هيدروجيولوجية حوض بازيان غرب السليمانية / شمال شرق العراق .

وقد انجز اول مسح كهربائي في العراق عام ١٩٨٢ في منطقة المدائن الآثارية والتي تبعد ٣٠ كم جنوب بغداد(٢٤) ، حيث تم مسح معظم المسارات باستعمال نظام وينر وبعضها باستعمال نظامي ثنائي القطب وثلاثي القطب ، والتي أعطت نتائج شجعت على انتشار الطريقة في اماكن اخرى من العراق ، ففي عام ١٩٨٩ قام (٢٥) باجراء التحري الكهربائي بطريقة المقاومة النوعية لاجزاء من مدينة خورسباد الآثرية حيث فسرت النتائج وتم التوصل الى الامتداد العمودي للتراكيب الاثرية وعمقها ، وسيتم لاحقاً مقارنة نتائج هذا المسح مع نتائج المسح المغناطيسي وفي عام ١٩٩٢ اجرى (٢٦) مسحاً كهربائياً للمقاومة النوعية في الجزء الشمالي من مدينة نينوى القديمة حيث تم استخدام ترتيب وينر للاقطاب من اجل تحديد مواقع التراكيب الآثرية المدفونة .

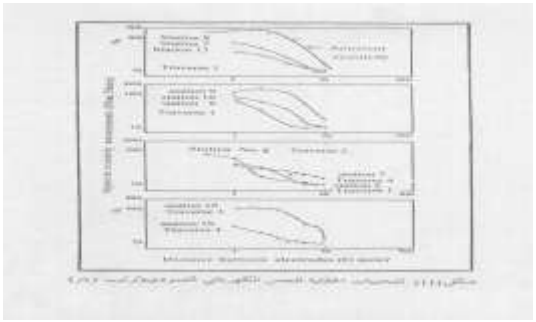
وقام (٢٧) بتطبيق الترتيب المربع للاقطاب في طريقة المقاومة النوعية الكهربائيـة لاغـراض التحـري عـن الآثـار فـي مـوقعي بسـماية وطيسـفون الاثاريين قرب بغداد ، حيث اظهر هذا الترتيب قابلية كبيرة في الكشف عـن الآثـار حتـى عنـدما تكـون قـيم المقاومـة متقاربـة بـين الآثـار والتربـة المحيطة بها.

نتائج المسح الكهربائي لأجزاء من مدينة خورسباد

أجري في البداية مسح أوّلي تم من خلاله أخذ جس كهربائي عمودي باستعمال ترتيب شلمبرجر في موقعين هما : VES I و VES II حيث يعتقد بوجود تركيب أثري مدفون اعتمادا على الدراسات والتنقيبات السابقة ، ثم أجري المسح الكهربائي التفصيلي باستعمال ترتيب وينر على اربـع مسـارات (الشـكل ٤) وتراوحـت المسـافة بـين الأقطـاب (a) بحـدود (٠,٥م –١٢م) حددت اعتمادا على نتائج تفسير VES I أمّا المسافة بين محطات المسح على هذه المسارات فقد كانت ٨ م – ١ م اعتمادا على التغير في قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة ، وتم اضافة جس عمودي على احدى عشر محطة من محطات المسارات الاربعة حيثما كانت قيم المقاومة النوعية الظاهرية عالية فوق التراكيب المطمورة . وتم تفسير المنحنيان VES I و VES II بطريقة النقطة المساعدة حيث اعتمد على المنحنيات النظرية الثنائية الطبقة والمخططات المساعدة حيث يظهر الشكل (١٠) منحنيات المقاومة النوعية الظاهرية بالاضافة الى السمك والمقاومة النوعية للانطقة المختلفة (٢٥) .



اما المسارات الاربع فقد فسرت نتائج المسح الافقي لها وصفياً لتثبيت موقع وسمك التركيب المدفون واما المسح العمودي للمحطات الاحدى عشر فوق هذه المسارات فقد فسرت نتائجه باستخدام طرق عديدة منها طريقة التطابق الكلي للمنحنيات وطريقة الرسم التصاعدي وطريقة تاك ،وكما يبين ذلك الشكل (١١) والجدول (١) .



جدول (١): النتائج النهائية لطرق التفسير الكهربائية (٢٥)

رقم المسار	محطة جس VES	نتائج طرق التفسير										معدل النتائج				
		التطابق الكامل للمنحني			الرسم التصاعدي		منحنيات تاك									
		p1	p2	h1		p1	p2	p3	h1	h2		p1	p2	p3	h1	h2
١	٥	٤٨	٨,٥	١,٧	h1 = ٢,٠	٥٠	٨٠٨	–	١٠٦			٤٩	٨٠٦	–	١٠٨	–
١	٦	٩٠	٧,٣	١,٠	h1 + h2 = ٢,٠	٩٠	٨,٩	–	١,٠	–		٩٠	٨,١	–	١,٠	–
١	٧	٨٥	٢١	١,٣	h1 + h2 = ٢,١	٩٠	٣٢	–	١,١	–		٨٨	٢٦	–	١,٢	٠,٩
١	٨	١٦٠	٢٢٥	٠,٩٥	h1 + h2 = ٣,٠	١٥٠	٢٢٧	٧٤	٠,٨٥	٢,٠		١٥٥	٢٢٦	٧٤	٠,٢	٢,٠
١	٩	١١٠	٢٠٤	٠,٧٦	h1 + h2 = ٢,٢	–	٢٠٠	٣١,٢	–	–		١١٠	٢٠٢	٣١	٠,٧٦	١,٤
١	١٠	١١٥	٣٨	٠,٩٦	h1 + h2 = ٢,٢	١١٠	٣٢	–	١,١	–		١١٢	٣٥	–	١,٠	١,٢
١	١٣	٤٣	١١	١,٧	h1 = ٢,٠	٤٣	–	١١	١,٦	–		٤٣	١١	–	١,٨	–
٢	٨	٨٨	٢٢	٠,٨٦	-	٩٠	٢٧	١٠	٠,٧	١,٧		٨٩	٢٧	١٠	١,٩	١,٥

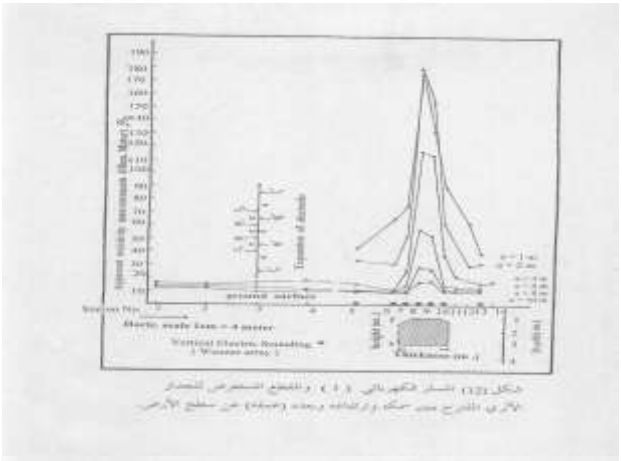
٣	١٠	١٠٥	١٥٧	١,٣	h1 + h2 = ٣,٠	–	١٣٠	١٢	–	–	١٠٥	١٤٣	١٢	١,٣	١,٨
٤	٧	٤٦	٢٥	٠,٩	h1 + h2 = ٣,٠	٤٦	٢٥	–	٠,٩٥	–	٤٦	٢٥	–	٠,٩	٢,١
٤	١٦	٤٠	١٠	١,١	h1 + h2 = ٢,٨	٤٣	٩,٤	–	١,١	–	٤٢	٩,٧	–	١,١	١,٧

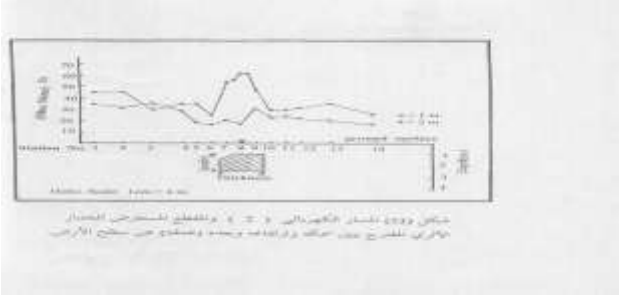
ملاحظة : h= سمك الطبقة (متر) p= المقاومة النوعية للطبقات (اوم . متر)

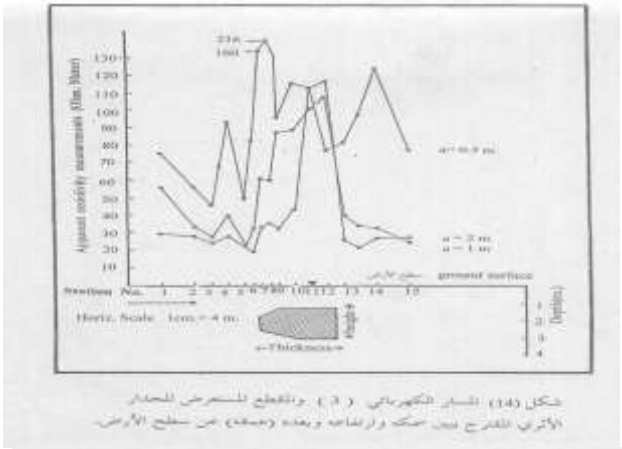
وقد رسمت قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة على المسارات الاربع ولجميع المسافات القطبية بشكل مقاطع مستعرضة يظهر فيها واضحاً الجدار المقترح من ناحية سمكه وارتفاعه العمودي وعمقه عن سطح الارض . ففي الشكل (١٢) يبين المسار الاول ان الجدار المطمور يقع على عمق متر واحد تقريبا عن سطح الارض وارتفاعه متران وسمكه ٨ أمتار .

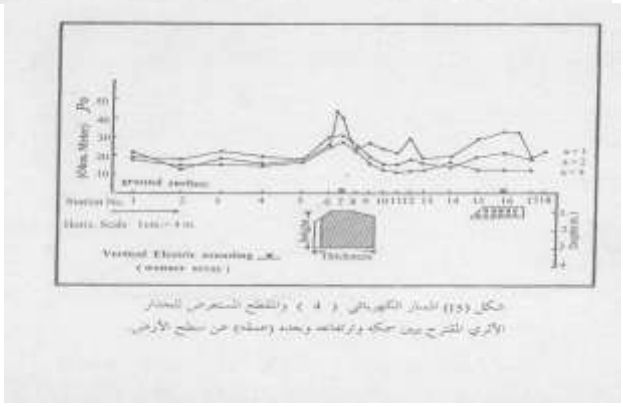
ومن الشكل (١٣) يبين المسار الثاني ان الجدار له نفس العمق الاّ ان ارتفاعه ١,٥ م وسمكه ٦م.

اما الشكل (١٤) فيبدو فيه الجدار المدفون من خلال المسار الثالث يقع على عمق اكثر (١,٣م) وارتفاعه (١,٨م) وسمكه اكبر (٩,٢م). واخيرا يظهر الشكل (١٥) من خلال المسار الرابع ان هذا الجدار يقع على عمق متر واحد تقريباً بارتفاع ٢,١ م وسمك يتراوح بين(٨–٩)م .







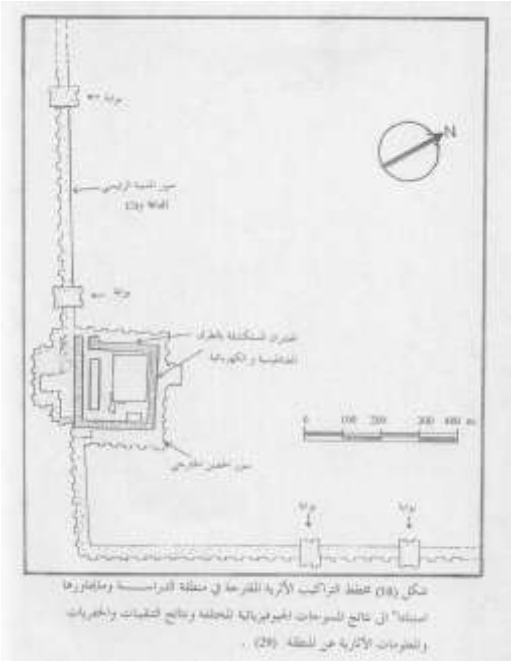


المناقشة ومقارنة نتائج المسحين المغناطيسي والكهربائي :

قبل الدخول في المقارنة بين نتائج المسح المغناطيسي مع نتائج المسح الكهربائي لابد من التأكيد على ان تفسير المعطيات المغناطيسية اصعب بكثير من تفسير المعطيات الكهربائية لكثرة المتغيرات التي تدخل في تكوين الشواذ المغناطيسية حيث يدخل موضوع المغناطيسية المحتثة والمتبقية واتجاهاتها في الاجسام المطمورة فضلاً عن ابعاد الجسم المسبب للشذوذ وعمقه ،وقد نجحت كلا الطريقتين في منطقة الدراسة في تحديد الابنية الآثرية ، ولكن مما يجدر ذكره انه قد تفشل احدهما في التطبيق أحيانا" وتنجح الاخرى او تفشلان كلاهما اعتماداً على خواص وظروف المواقع الاثرية مما يضطر المختص او الباحث الى استخدام تقنيات جيوفيزيائية اخرى اكثر ملائمة للموقع قيد الدراسة . فمثلاً أشار (٢٨) الى أن الطريقة الكهربائية اعطت نتائج خاطئة أو ضعيفة في موقع(Malpaga) الأثري / شمال ايطاليا لان المياه الجوفية قريبة من سطح الارض في هذا الموقع ولم يحصل تباين في قيم المقاومة الكهربائية في حين نجح المسح المغناطيسي في هذا الموقع . بينما نجحت تقنية(ERT) الكهربائية بشكل مدهش في مواقع اثرية اخرى شمال وجنوب ايطاليا وكما مرّ ذكره(٢٢) حين اصبحت التقنيات الجيوفيزيائية الاخرى (المغناطيسية والكهرومغناطيسية والرادار الارضي والموجات فوق

الصوتية) غير عملية او محدودة الاستعمال اماً لكون المواقع هذه مأهولة بالسكان أو لوجود عوائق اخرى أو لظروف الموقع الجيولوجية والمناخية . وكما ذكر سابقاً فان الطريقتان المغناطيسية والكهربائية قد اثبتتا نجاحاً في الكشف عن هذا الموقع (منطقة خورسباد الاثرية) وتحديد الجدران المطمورة فيه ولكن توجد فروقا بسيطة في قيم عمق الجدار، اما ارتفاع الجدار فيبدو متطابقاً تقريباً ويتراوح بين ١-١,٥ متر بالطريقة المغناطيسية وبين ١,٥-٢ متر بالطريقة الكهربائية وكذلك هناك تطابق بنتائج سمك الجدار بكلا الطريقتان حيث يتراوح السمك بين ٥-٧,٥م بالطريقة المغناطيسية وبين ٦-٨ متر بالطريقة الكهربائية في موقع المسارين ١ و٢ المأخوذين في نفس المواقع بكلا الطريقتين .

وتم ربط نتائج المسحين المغناطيسي والكهربائي مع بعضهما في عملية التفسير ثم اضيفت لها معلومات آثارية وتاريخية من دراسات وتنقيبات سابقة لهذه المنطقة وما يجاورها وتم التوصل الى المخطط المرسوم في الشكل (١٦) والذي يبين مخططاً للتراكيب الآثرية المقترحة في منطقة الدراسة وما يجاورها استناداً الى نتائج المسوحات الجيوفيزيائية التي جرت في المنطقة وكذلك التنقيبات والحفريات التي نشرت نتائجها لاحقاً ومنها تنقيبات المعهد الشرقي في جامعة شيكاغو الامريكية(٢٩) ، وعدة اتصالات شخصية مع المختصين في هذا المجال ومنهم العالم الآثاري المعروف الدكتور بهنام ابو الصوف.



الاستنتاجات:

١- يمكن توظيف الامكانات الحديثة في الدراسات الآثارية في العراق وخاصة في مجال فحص المعادن والتحريات التحتسطحية عن المعادن والتربة والفحوصات الانثروبولوجية .

٢- باستطاعة رجال الآثار في العراق والمختصين في هذا المجال الاستفادة من أحدث المبتكرات والوسائل التقنية في كافة مراحل الاستكشاف الآثاري الحقلية و المختبرية .

٣- يمكن استخدام التحليلات الجيوكيميائية للتربة في المواقع الآثرية القديمة .

4- تعد الطرائق الجيوفيزيائية من أفضل الأساليب في مجال الاستكشافات والتحري عن الآثار لانها آمنة تماماً حيث لا تسبب أي نوع من الأضرار للآثارالمطمورة وتضمن اكتشاف الابعاد التقريبية للتراكيب الاثرية وطبيعة الطبقات الحاملة للآثار .

٥- نجحت الطريقتان المغناطيسية والكهربائية في تحديد الابنية الاثرية التي تقع ضمن حدود منطقة خورسباد الأثرية علماً انه قد تفشل احداهما في التطبيق وتنجح الاخرى او تفشلان كلاهما في مواقع اخرى اعتماداً على خواص وظروف المواقع الاثرية .

٦- ان برنامج (MAGCAD) مفيد جداً وخصوصاً في حالة الشواذ المركبة الناتجة من تداخل عدة شواذ عائدة لمظاهر او جدران متقاربة ، وتعد هذه الطريقة في التفسير خطوة متطورة عن طريقة تفسير شواذ منفردة .

٧- تظهر الشواذ الكهربائية نتيجة لوجود تباين في قيم المقاومة النوعية بين التراكيب الآثرية والتربة المحيطة بها ويتأثر هذا التباين بعوامل مختلفة من اهمها كمية الماء الموجودة في التربة(الرطوبة) التي تتغير حسب العوامل المناخية والهيدرولوجية ونوعية التربة وما تحويه من قطع حجرية وطابوق .

٨- من مزايا الطريقة الكهربائية هو امكانية تطبيقها داخل المدن ولا تتأثر بالظواهر الخارجة مثل الابنية والاسلاك الكهربائية للمدينة عكس الطريقة المغناطيسية ولكنها تتأثر بعدة معوقات ويصعب استخدامها في المناطق الصخرية لصعوبة تثبيت الاقطاب وتكون نتائجها ضعيفة أو خاطئة في المواقع التي يكون فيها مستوى الماء الجوفي قريباً من سطح الارض .

٩- ان التفسيرات المتكاملة يجب ان تبنى على عدة طرق أو اساليب استكشافية ذكرت في هذه الدراسة ، وتتكامل بربطها كلها في التفسيرات مع دعمها بالأدلة التاريخية والمعلومات الآثارية المستنتجة من دراسات وتنقيبات سابقة في المناطق المجاورة لمنطقة الدراسة .

التوصيات:

١- ضرورة تعاون المختصين بالآثار مع الجيوفيزيائيين لاجراء الدراسات المعمقة الخاصة بالمغناطيسية القديمة للآثار (Palaeomagnetısm) .

٢- ضرورة استخدام التقنيات الحديثة في مجال صيانة وترميم الآثار من خلال اشتراك عدة اختصاصات علمية وهندسية لوضع مشروع متكامل لترميم الاثار

٣- استخدام تقنية التحليل بالتنشيط النيوتروني لتوصيف وتحليل الآثار السيراميكية والخزفية والمعدنية في العراق .

٤- استخدام التصوير الفضائي الراداري في الكشف عن الآثار المدفونة .

٥- التأكيد على المختصين العراقيين بالتوسع في استخدام تقنية التالق الحراري (TL) لدراسة تاريخ الاثار الفخارية نظرا لدقتها ونتائجها المباشرة وآفاقها الاستدلالية الواسعة .

٦- اجراء المسح الكهربائي خلال الفترات التي تكون بها التربة عالية الرطوبة للحصول على تباين في المقاومة النوعية بين التراكيب الآثرية والتربة المحيطة بها .

٧- التوسع في مسح واستكشاف المساحات الشاسعة في العراق بأحدث الطرائق الجيوفيزيائية للتحري عن المواقع والتراكيب الآثارية وتحديد امتداداتها بسرعة .

٨- ادخال تقنية (ERT) في الاستكشاف الآثاري لكونها تمتاز بتحليل عالي جداً (high resolution) وامكانية جمع معلومات بأبعاد ثلاثة (3D) عن التراكيب التحتسطحية وبزمن قليل جداً وتوفر برامجياته التي اختبرت في عدة مواقع وأثبتت كفاءتها ، وعلاوة على ذلك فان تقنية (ERT) تستكشف التراكيب التحتسطحية في أسوأ الظروف الغير ملائمة مثل تشبع الموقع بالمياه والتي تحول دون تطبيق طرق الرادار الأرضي(GPR) والموجات الصوتية (Ultrasonic).

المصادر :

١ – المفرجي ، محمود عبد الله ،٢٠٠٢ ، استخدام التقنيات الحديثة في الكشف عن الاثار . المؤتمر العلمي السنوي لكلية الاداب /جامعة الموصل ٩-١٠ تشرين الاول ٢٠٠٢ (الملخصات) .

٢- الجراح ، عمر برهان ، ٢٠٠٠ ، استخدام التصوير الفضائي الراداري في الكشف عن الاثار المدفونة. الندوة الوطنية الاولى للاسناد العلمي والتقني للدراسات الاثرية ، منظمة الطاقة الذرية العراقية ، بغداد – العراق ١٥-١٧ ايار ٢٠٠٠ .

٣-السعدي ، قاسم محمود ، ٢٠٠٠ ، استكشاف الانهار القديمة والمواقع الاثرية باستخدام التحسس النائي. الندوة الوطنية الاولى للاسناد العلمي والتقني للدراسات الاثرية ، منظمة الطاقة الذرية العراقية ، بغداد – العراق ١٥-١٧ ايار ٢٠٠٠.

٤- حواس ، زاهي ،٢٠٠١ ، استخدام التكنولوجيا في الكشف عن اسرار الاهرامات. ندوة التكنولوجيا والاثار/القاهرة ، المجلس الاعلى المصري للثقافة – لجنة الاثار ، ٢٧-٢٨ مارس ٢٠٠١ .

5- AL–Basam, Khaldun S., 2000, Soil Geochemistry in Archaeological Prospecting. Proc. Of first National Symposium on scientific and technical support for Archaeological Studies, Iraqi Atomic commission, Baghdad – IRAQ, 15-17 May 2000.

٦-العطية ، موسى جعفر ، ٢٠٠٠ ، استخدام ظاهرة التالق الحراري في دراسة تاريخ الاثار الفخارية في العراق. الندوة الوطنية الاولى للاسناد العلمي والتقني للدراسات الاثرية ، منظمة الطاقة الذرية العراقية ، بغداد – العراق ١٥-١٧ ايار ٢٠٠٠ .

٧-عبد الله ، طه ، ٢٠٠١ ، المكونات المنهجية لمشروع ترميم الاثار. مخلصات ندوة التكنلوجيا والاثار ، مجلة ادوماتو (Adumatu) ، العدد الرابع ، ٢٠٠١ – منشورات مؤسسة عبد الرحمن السديري الخيرية/ السعودية .

8- AL – Ameri, Thamer, et al. 2000, Palynological Evidences on the Climatic and Environmental changes During the late Holecene in the Mesopotamian plain, Southern Iraq. proc of first National symposium on Scientific and Technical Support for Archaeologicel Studies, Iraqi Atomic Energy commision, Baghdad – IRAQ, 15 – 17 May 2000.

9- Owen , M. A, AL – Sheikhly , y. s. s and AL – Ameri, T. K. 2000 , palaeoecology of Mandli / Kut Area During the Quaternary. proc of first National symposium on Scientific and Technical Support for Archaeologicel Studies, Iraqi Atomic Energy commision , Baghdad – IRAQ, 15 – 17 May 2000 .

١٠- الهزاع ، سوسن ، البصام ، خلدون و تمر اغا ، مازن ، ٢٠٠٠ ، مؤشرات المناخ خلال البلايستوسين المبكر من دراسة الجزء الاعلى من تكويني الدبدبة والزهرة في الصحراء الغربية والجنوبية للعراق . الندوة الوطنية الاولى للاسناد العلمي والتقني للدراسات الاثرية ، منظمة الطاقة الذرية العراقية ، بغداد – العراق ١٥-١٧ ايار ٢٠٠٠ .

١١- شقير ، فارس سلوم ، ١٩٩٢ ، الجيوفيزياء التطبيقية (الطرائق العلمية في استكشاف باطن الارض) الجزء الاول – طرائق الجاذبية والمغناطيسية المركز العربي للتعريب والترجمة والتاليف والنشر – دمشق / سوريا ، ٣٨٣ صفحة .

١٢- حسن ، اقبال امين ، ١٩٨٥ ، استخدام طريقتي الجهد الذاتي الكهربائي والحرارة الارضية في الكشف عن الاثار في منطقة عكركوف. رسالة ماجستير، العلوم.

13-Tarling, D.H. , 1971 , Principles and Applications of Palaeomagnetism .First edition . Chapman and Hall . P . 164 .

14- Hammo , Nimat , B. , 1977 , the use of Magnetic method in Archaeological Investigation. M. SC. thesis, University of Baghdad Unpublished .

15-Becker, Helmut, 2000, Magnetic Prospecting of Buried cities – Assur (Iraq), Troy (Turkey) , palmyra (syria) and piramesses (Egypt). proc. of first National symposium on scientific and Technical support for Archaeological Studies, Iraqi Atomic Energy commision, Baghdad – IRAQ, 15 – 17 May 2000.

١٦- الداؤد ، محمود عبد الله ، ١٩٨٤ ، استكشاف مغناطيسي لاجزاء من مدينة خرسباد (دورشروكين) الاثرية. رسالة ماجستير ، جامعة الموصل.

17-Sheriff, steve, 1991 , MAGCAD program, Gradient Geology and Geophysics , POBOX 7544 , Missoula , Montana 59807 .

18- Griffin, W. R. 1949, Residual Gravity in theory and Practice . Geophyics,Vol. 14, 1, p. 39 – 56 .

19-Atkinson, R .J . C ., 1953 , Field Archaeology, second edition, Methuen , london , P. 32 .

20-Palmer, L. S.,1960, Geoelectrical surveying of archaeological sites. proc. prehist . soc . , 26 , 64 – 72 .

21-Rees, A. I., 1962 Electrical prospecting methods in Archaeology. Antiquity, 36, 131 – 140 .

22-ABU-ZEID, N and Santrato, G ., 2002. Electrical resistivity imaging in archaeology. International conference on science & Technology in Archaeology & conservation. The Hashemite Univ., Zargajordan with sponsorship UNESCO , 12 – 17 August 2002

23-Aziz , Bakhtiar Kader, 2005, Two Dimension Resistivity Imaging Tomography for Hydrogeological study in Bazian Basin – West Sulaimani City, NE–IRAQ. Ph.D. Thesis, University of Sulaimani.

24-Majeed , Balsam Salem, 1982 Application of Electrical Resistivty method in shallw Investigation at Archaeological Sites. M.Sc. Thesis, University of Baghdad, Unpublished .

٢٥- الشيخ ، زهير،الداؤد ، جاسم محمد ، احمد ، مروان متعب ، ١٩٨٩ ، التحري الكهربائي لاجزاء في مدينة خورسباد الاثرية . مجلة الجمعية الجيولوجية العراقية ، المجلد ٢٢ العدد ١ ، ١٦٠ – ١٧٧ .

٢٦- العاني ، جاسم محمد ، متعب ، مروان واحمد ، طلال يحيى ، ١٩٩٢ ، الاستقصاء الكهربائي للمقاومة النوعية في الجزء الشمالي من مدينة نينوى .المجلة الجيولوجية العراقية ،المجلد ٢٥،العدد١ ،٥٩ – ٧٤ .

٢٧- احمد ، طارق صفاء الدين والعيثاوي ، عباس محمد ياس ، ٢٠٠٠ ، تطبيق الترتيب المربع للاقطاب في طريقة المقاومة النوعية الكهربائية لاغراض التحري عن الاثار (بسماية ، طيسفون) . الندوة الوطنية الاولى للاسناد العلمي والتقني للدراسات الاثرية ، منظمة الطاقة الذرية بالتعاون مع وزارة الثقافة والاعلام ، بغداد – العراق ، ١٥ – ١٧ ايار ٢٠٠٠.

28- Brien, D. p., 1976, Archaeological Surveying Utilizing ahigh Sensitive Difference Magnetometer. Geoexploration, 6, pp. 106– 122 .

٢٩- الاحمد ، سامي سعيد ، ١٩٨٠ ، آثار بلاد الرافدين. دار الرشيد للنشر ، منشورات وزارة الثقافة والأعلام – العراق. ترجمة عن كتاب (The Archaeology of Mesopotamıa) لمؤلفه (Seton Lloyd)، ٢٩٠ صفحة.

Geophysical techniques applied to archaeological prospecting

Mahmoud Abdullah Mohammad Al-mufarjy

Department of Petroleum Engineering, College of Engineering, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq

Abstract:

This study includes a brief discussion on the important means and techniques which are used in archaeological field, such as remote sensing, geochemical analyses, recently used techniques in fields of palaeoecological, biological and anthropological studies, using of computers and modern soft ware in this field . Finally the study focused on the geophysical methods which were proved to be successful tools in exploration of hidden archaeological structures inside and outside Iraq .

In the current study(MAGCAD) program was used for re-interpretation of some magnetic measurements and anomalies which were previously achieved by the same researcher via several parallel traverses and not interpreted at that time, because of unavailability of the program mentioned above.

This program solves the problem of overlapping anomalies caused by close walls or bodies. The effect of each anomaly on another could be computed, so the resultant anomaly profiles are shown and changed instantly to match the measured profiles, that facilitated making accurate calculations that led to obtain precise quantitative interpretations in which archaeological hidden walls were detected at 1.8 m. depth from the ground surface.

The magnetic results had been enhanced with the result of electric resistivity survey along four traverses and many vertical electric sounding (VES) points in this area and it's surrounding. The results were some how similar in the two methods, so they were connected together during the interpretations, then an archaeological and historical information were added from previous studies and excavations in the area and the surroundings. The diagram of suggested archaeological structures in the area had been obtained .